

Robot Lengan Dengan Pengendali Lengan Manusia

Adhi Budiono^{1,2}, Indra Adji Sulistijono¹, I Made Andik Setiawan²

¹Jurusan Teknik Mekatronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

Jalan Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp: (031) 5947280; Fax: (031) 594 6114

²Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Jalan Timah Raya, Air Kantung Sungailiat 33211

Telp: (0717) 95252; Fax: (0717) 93585

e-mail : adhi@polman-timah.ac.id

Abstrak

Sistem robot di dunia industri selama ini biasanya terdiri atas dua unsur penting, yaitu robot lengan itu sendiri sebagai unsur mekanik dan pengontrol sebagai unsur kontrol yang berfungsi mengendalikan pergerakan dari robot. Pengendalian pergerakan robot dengan kecerdasan buatan terkadang masih memiliki keterbatasan dalam beberapa hal misalnya untuk pergerakan yang lebih aktual ataupun yang lebih fleksibel sehingga masih diperlukan pengontrolan yang dilakukan secara manual. Pada Penelitian ini akan dibuat robot lengan dengan pengendali lengan manusia, dimana robot lengan tersebut akan bergerak mengikuti lengan manusia yang telah dilengkapi dengan pengontrol berupa sensor posisi. Pada lengan pengendali akan diletakkan sensor pembaca posisi pada masing-masing engselnya untuk kemudian informasi posisi tersebut akan dikirimkan ke mikrokontroler. Dari mikrokontroler akan memberikan sinyal ke robot lengan untuk bergerak ke posisi yang sama dengan posisi lengan pengontrol. Aktuator yang digunakan pada robot lengan ini adalah motor servo. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, robot lengan dapat bergerak ke koordinat end point yang mendekati end point kontroler, namun dari 9 kali percobaan didapat persentase error maksimum koordinat adalah 11,93%. Error ini disebabkan oleh perubahan ADC potensiometer yang tidak 100% linier.

Kata kunci: robot lengan, sensor, mikrokontroler, servo controller, motor servo

1. PENDAHULUAN

Penggunaan robot lengan di industri semakin meningkat dari waktu ke waktu untuk menangani berbagai tugas, baik tugas yang tidak bisa ditangani manusia dan tugas-tugas lain yang dilakukan di

lingkungan yang berbahaya, maupun tugas-tugas yang dapat dilakukan manusia seperti di industri.

Beberapa hal yang mendasari penggunaan robot adalah karena robot memiliki banyak kelebihan yang tidak dimiliki manusia diantaranya: menghasilkan output yang sama ketika mengerjakan suatu pekerjaan secara berulang-ulang, tidak mudah lelah, dapat diprogram ulang sehingga dapat difungsikan untuk beberapa tugas yang berbeda, lebih sedikit melakukan kesalahan dibandingkan manusia, serta berbagai keuntungan lainnya. [6]

Namun, Pengendalian pergerakan robot dengan kecerdasan buatan terkadang masih memiliki keterbatasan dalam beberapa hal misalnya untuk pergerakan yang lebih aktual ataupun yang lebih fleksibel sehingga masih diperlukan pengontrolan yang dilakukan secara manual.

Penelitian sebelumnya RAMCES-5 adalah robot lengan 5 derajat kebebasan. Pengontrolan dilakukan dengan menggunakan potensiometer yang diletakkan pada lengan manusia, sehingga RAMCES-5 dapat bergerak mengikuti pergerakan tangan manusia. Robot lengan ini menggunakan 5 motor servo yang dikontrol oleh mikrokontroler, namun tidak menggunakan servo controller. [9]

Pada RAMCES-5 pengujian dilakukan untuk melihat kestabilan dan kekuatan robot pada saat griper dari robot tersebut memegang beberapa obyek tertentu, namun bukan pada pengujian kesesuaian sudut lengan pengendali dan robot lengan tersebut.

Pada penelitian ini akan dibuat robot lengan 3 *degree of freedom* yang pergerakannya dapat dikendalikan oleh sebuah pengontrol yang diletakkan di lengan kanan manusia. Pada robot ini juga terdapat mikrokontroler, dan juga servo controller yang akan mengatur robot lengan agar dapat bergerak mengikuti gerakan lengan manusia yang telah dipasang pengontrol tersebut.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler AVR ATmega merupakan mikrokontroler berbasis arsitektur *RISC (Reduced Instruction Set Computing)* 8 bit. Berbeda dengan mikrokontroler MCS51 yang mempunyai arsitektur *CISC (Complex Instruction Set Computing)*, AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi. [3]

2.2 Motor Servo

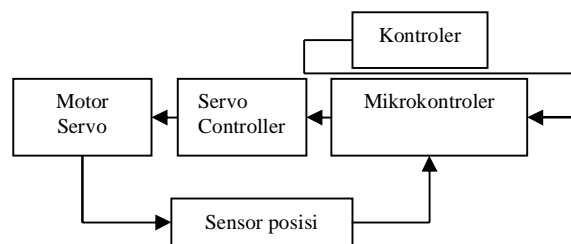
Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

2.3 Servo Controller

Servo Controller adalah modul elektronik yang dapat mengontrol pergerakan dan kecepatan banyak motor servo secara bersamaan. *Servo Controller* terhubung dengan mikrokontroler menggunakan komunikasi serial yaitu pada PORT D.1.

3. METODOLOGI

3.1 Perencanaan Sistem



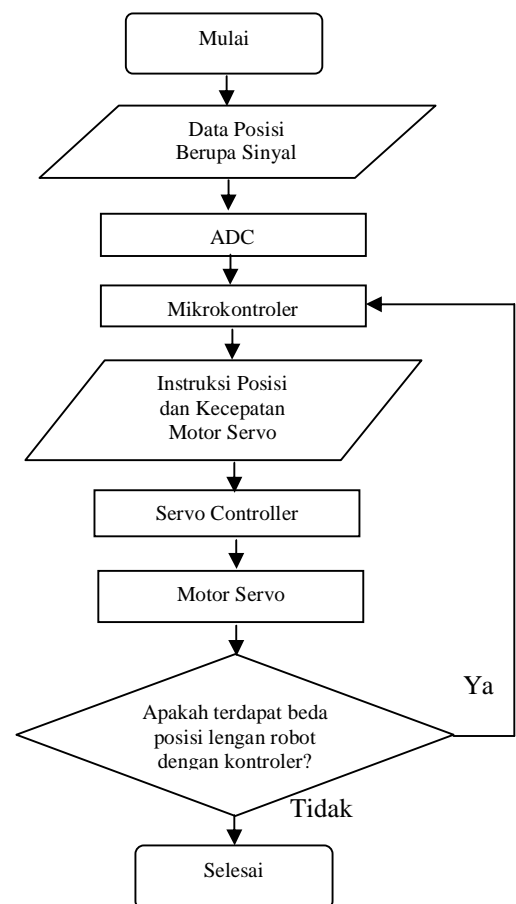
Gambar 1 Blok diagram proses kerja system

Penjelasan sistem secara umum pada gambar 2 adalah sebagai berikut:

1. Setiap pergantian posisi pada kontroler akan berpengaruh pada nilai dari potensiometer yang diletakkan di setiap persendian lengan pengontrol.
2. Nilai dari potensiometer tersebut akan berpengaruh pada nilai tegangan yang dikirimkan ke mikrokontroler melalui PORTA.0

sampai dengan PORTA.2 (terdapat 3 potensiometer pada lengan pengendali).

3. Dari nilai-nilai tegangan tersebut, oleh mikrokontroler akan diubah menjadi data digital.
4. Berdasarkan pada data-data digital tersebut, mikrokontroler akan memberikan instruksi kepada servo controller untuk menggerakkan motor servo ke posisi dan dengan kecepatan tertentu.
5. Nilai dari konversi ADC sensor posisi pada lengan robot akan dibandingkan dengan nilai ADC dari kontroler. Besarnya selisih kedua nilai tersebut akan menjadi acuan untuk menentukan instruksi kecepatan motor servo ke *servo controller*.

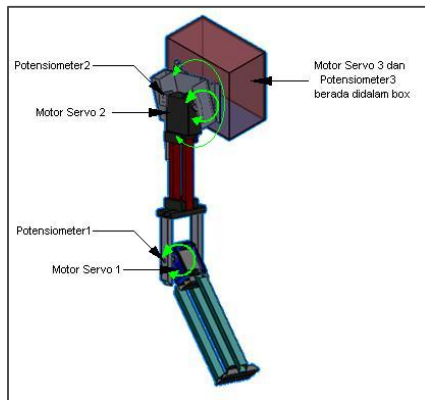


Gambar 2 Flow Chart Proses Kerja Sistem

3.2 Rancangan robot lengan

Lengan robot dibuat menggunakan bahan aluminium dengan berbagai ukuran. Aluminium dipilih karena merupakan bahan yang cukup ringan dan kuat. Masing-masing bagian pada lengan robot dilengkapi dengan elemen pengikat berupa paku

keling serta baut dan mur sesuai dengan kebutuhan. Desain robot lengan tampak pada gambar 3.



Gambar 3 Rancangan Lengan Robot

3.3 Rancangan kontroler

Rancangan kontroler yang akan diletakkan pada lengan kanan manusia dibagi menjadi 2 bagian. Yang pertama adalah kontroler pada bagian siku. Pada bagian ini terdapat 1 buah potensiometer sebagai input ADC yang merupakan acuan pergerakan *elbow* robot lengan.

Bagian kedua adalah kontroler pada bagian bahu. Pada bagian ini terdapat 2 buah potensiometer sebagai input ADC yang merupakan acuan untuk pergerakan 2 axis pada *shoulder* robot lengan.

3.4 Jangkauan Kerja Robot

Tinggi minimum saat lengan robot pada kondisi vertikal (V_{min}) adalah :

$$\begin{aligned} V_{min} &= TL - (LA + LB) \\ &= 695 - (270 + 232) \\ &= 695 - 502 \\ &= 193 \text{ mm} \end{aligned} \quad (1)$$

Ket : TL = Tinggi Landasan

LA = Panjang Lengan Atas

LB = Panjang Lengan Bawah

Tinggi maksimum saat lengan atas robot pada posisi $\pm 20^\circ$ diatas garis horizontal, dan lengan atas berada pada kondisi vertical, (V_{max}) adalah :

$$\begin{aligned} V_{max} &= TL + (LA \times \sin 20^\circ) + LB \\ &= 695 + (270 \times 0.342) + 232 \\ &= 695 + 92.345 + 232 \\ &= 1019.345 \text{ mm} \end{aligned} \quad (2)$$

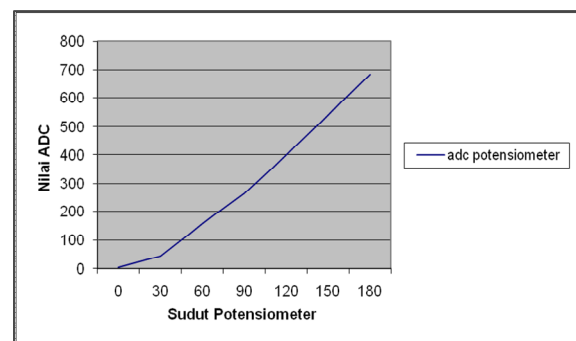
Jangkauan horizontal maksimum lengan robot (H_{max}) adalah:

$$\begin{aligned} H_{max} &= LA + LB \\ &= 270 + 232 \\ &= 502 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3)$$

3.5 Sensor Posisi

Potensiometer 50k Ω digunakan sebagai sensor posisi, dimana potensiometer tersebut terhubung dengan sumber tegangan dan PORT A pada mikrokontroler.

Tegangan yang masuk ke PORT A akan dikonversi menjadi data digital dengan menggunakan ADC internal 10 bit pada mikrokontroler. Grafik hasil ADC terhadap sudut potensiometer dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik Nilai ADC Potensiometer Terhadap Sudut Potensiometer. (Sumber: Hasil Pengamatan)

3.6 Aktuator / Motor Servo

Pada robot lengan ini digunakan 3 buah servo sebagai *actuator* untuk gerakan *revolute*. Untuk *elbow*/siku digunakan motor servo standard produksi Hi-Tech tipe HS-322HD, sedangkan pada *shoulder*/bahu digunakan 2 buah motor servo dikarenakan pada bagian bahu terdiri dari 2 derajat kebebasan.

Pada bagian bahu ini digunakan motor servo yang berbeda dengan yang digunakan pada *elbow* yaitu motor servo produksi Hi-Tech tipe HS-805BB yang memiliki torsi besar.

Ketiga motor servo ini dapat berputar 180° dan metode pengontrolan yang digunakan adalah dengan kendali *servo controller*.

Contoh instruksi untuk servo controller:

```
putchar('I'); putchar('S'); putchar('C');
putchar(0);   putchar(8);   putchar(0x7E);
putchar(0x04); putchar(13);
```

Keterangan:

```

putchar('!'); putchar('S'); putchar('C');
(Instruksi serial ke servo controller)
putchar(0);
(Instruksi pemilihan channel (ch0))
putchar(8);
(Instruksi kecepatan (kecepatan 8)
putchar(0x7E);
(Instruksi posisi (2 bit low heksa))
putchar(0x04);
(Instruksi posisi (2 bit high heksa))
    
```

Pada contoh diatas, instruksi posisi jika digabungkan maka akan bernilai 47EH, jika diubah menjadi desimal maka akan bernilai 1150. Sehingga, instruksi " putchar('!'); putchar('S'); putchar('C'); putchar(0); putchar(8); putchar(0x7E); putchar(0x04); putchar(13); " dapat diartikan : instruksi *servo controller* untuk servo pada channel 0, dengan set kecepatan 8 ke posisi 1150.

4. PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Kecepatan Servo Berdasarkan Instruksi Servo Controller

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap kecepatan motor servo untuk setiap nilai instruksi kecepatan *servo controller*. Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui kecepatan masing-masing servo setelah ter-assembly dengan unsur mekanis robot lengan.

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 1, diketahui bahwa:

- Pada instruksi kecepatan 1 sampai dengan 5, terjadi kesamaan kecepatan, hal ini terjadi pula pada kecepatan 6 dan 7 dapat dilihat nilai kecepatannya adalah sama.
- Kecepatan masing-masing servo adalah tidak sama, yaitu bergantung pada jenis motor dan pembebanannya, walaupun instruksi *servo controller*nya sama.
- Semakin besar nilai instruksi, maka servo akan bergerak semakin lambat.

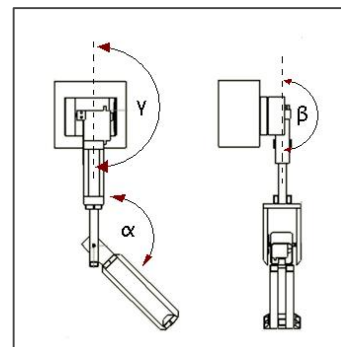
Tabel 1 Hasil Pengujian kecepatan servo berdasarkan instruksi servo controller

Nilai Instruksi Speed Servo Controller	Kecepatan Servo (ms/90°)		
	Servo1 / HS-322HD (Elbow)	Servo2 /HS-805BB (shoulder 1st axis)	Servo3 /HS-805BB (shoulder 2nd axis)
1	49.06	56.09	55.70
2	49.06	56.09	55.70
3	49.06	56.09	55.70
4	49.06	56.09	55.70
5	49.06	56.09	55.70
6	49.61	56.09	55.70
7	49.61	56.09	55.70
8	49.92	56.41	56.02
9	55.70	63.91	63.52
10	67.89	68.28	67.89
11	73.98	74.38	73.98
12	80.08	80.47	80.08
13	86.25	86.64	86.25
14	98.36	92.66	98.36
15	104.45	104.84	104.45
16	110.55	110.94	110.55
17	122.73	117.03	122.73
18	128.83	129.22	128.83

Sumber : Hasil Pengamatan

4.2 Pengujian Posisi *Joint* Masing-masing Servo Berdasarkan Instruksi Servo Controller

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai instruksi posisi yang harus diberikan untuk mencapai sudut tertentu pada masing-masing *joint* robot lengan.



Gambar 5 Sudut pada *joint* robot lengan

Tabel 2 Hasil pengujian sudut *alpha* berdasarkan instruksi servo controller

Sudut <i>alpha</i> (α)	Nilai Instruksi posisi
60	566
90	712
120	882
150	1038
180	1164

Sumber: Hasil pengamatan

Tabel 3 Hasil pengujian sudut *beta* berdasarkan instruksi servo controller

Sudut <i>beta</i> (β)	Nilai Instruksi posisi
90	717
105	792
120	866
135	940
150	1004
165	1075
180	1150

Sumber: Hasil pengamatan

Tabel 4 Hasil pengujian sudut *gamma* berdasarkan instruksi servo controller

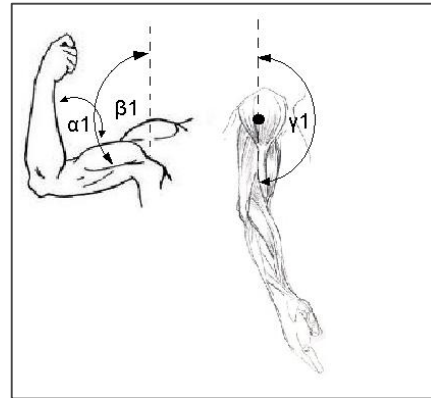
Sudut <i>gamma</i> (γ)	Nilai Instruksi posisi
90	634
105	731
120	791
135	872
150	946
165	1010
180	1076

Sumber: Hasil pengamatan

Berdasarkan data hasil pengujian, diketahui bahwa perubahan instruksi terhadap sudut *joint* dapat dikatakan mendekati linier.

4.3 Pengujian ADC pada kontroler

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ADC yang dihasilkan potensiometer pada kontroler untuk sudut yang terbentuk oleh lengan kanan manusia yang diletakkan kontroler, sehingga dapat dilakukan penyesuaian hitungan untuk menentukan nilai instruksi posisi servo.


Gambar 6 Sudut pada lengan manusia yang diletakkan kontroler Sumber: (http://etc.usf.edu/clipart/4100/4148/arm_2_md.gif)

Tabel 5 Nilai ADC potensiometer pada siku terhadap sudut yang dibentuk lengan manusia yang diletakkan kontroler

α 1 (derajat)	nilai ADC Potensiometer 4
90	530
120	640
150	766
180	877

Sumber: Hasil Pengamatan

Tabel 6 Nilai ADC potensiometer pada bahu (sumbu pertama) terhadap sudut yang dibentuk lengan manusia yang diletakkan kontroler

β 1 (derajat)	nilai ADC Potensiometer 5
90	460
120	490
150	530
180	577

Sumber: Hasil Pengamatan

Tabel 7 Nilai ADC potensiometer pada bahu (sumbu kedua) terhadap sudut yang dibentuk lengan manusia yang diletakkan kontroler

γ 1 (derajat)	nilai ADC Potensiometer 6
90	620
120	689
150	750
180	815

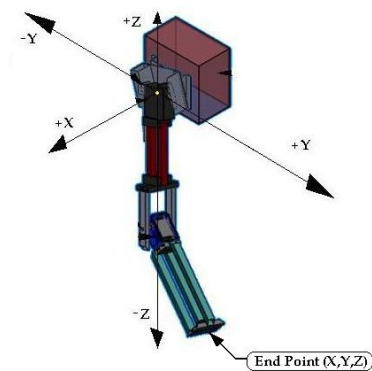
Sumber: Hasil Pengamatan

Berdasarkan data hasil pengujian, diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai ADC ketiga buah potensiometer berdasarkan sudut yang terbentuk dari lengan manusia, hal ini dikarenakan penempatan potensiometer pada kontroler tidaklah sama, sehingga diperlukan penyetingan pada program.

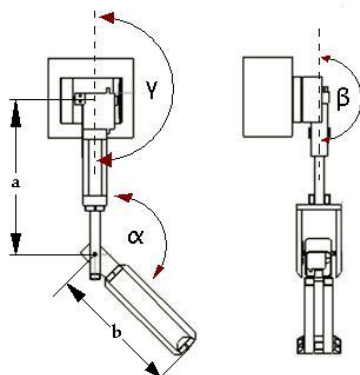
Perubahan Nilai ADC jika dilihat dari perubahan sudut sebesar 90 derajat adalah tidak sama untuk masing-masing potensiometer, sehingga diperlukan perhitungan instruksi posisi yang berbeda untuk masing-masing servo.

4.4 Pengujian kesesuaian posisi end point robot lengan dengan lengan pengendali

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap koordinat end point robot lengan. Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui ketepatan posisi lengan robot terhadap end point lengan pengendali. Nilai panjang lengan atas dan bawah pada lengan pengendali dianggap sama dengan robot lengan



Gambar 7 Koordinat End Point Robot Lengan



Gambar 8 Sudut dan Panjang Lengan Robot

Tabel 8 Perbandingan Koordinat End Point

No.	Pergerakan Joint			Koordinat End Point					
	α	β	γ	Lengan Pengendali			Robot Lengan		
				X	Y	Z	X	Y	Z
1	B	D	D	0.0	23.2	-25.6	0.0	23.4	-24.2
2	D	B	D	43.0	0.0	-24.9	42.4	0.0	-26.8
3	D	D	B	0.0	41.8	-28.6	0.0	42.9	-26.0
4	B	B	D	31.9	11.6	-24.2	30.3	12.9	-24.6
5	D	B	B	23.1	24.6	-37.2	23.3	26.5	-35.9
6	B	D	B	0.0	36.0	-28.1	0.0	36.3	-27.5
7	B	B	B	13.3	35.0	-26.3	14.1	34.8	-26.1
8	B	B	B	17.9	24.7	-21.0	17.4	24.6	-20.7
9	B	B	B	14.9	42.1	4.5	15.7	41.0	7.9

Sumber: Hasil Pengamatan

Ket : D=Diam = Tidak bergerak / mendekati sudut 180° .

B=Bergerak = Bergerak dengan sudut tertentu.

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 8, dapat dilihat bahwa koordinat end point pada robot lengan memiliki nilai yang sedikit berbeda dengan koordinat end point lengan pengendali. Persentase error masing masing sumbu koordinat dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Err} = (\Delta L / L) \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

Err = Persentase error koordinat (%)

ΔL = Jarak perbedaan nilai koordinat antara robot dengan lengan pengendali

L = Panjang pergerakan lengan pengendali, terhitung dari koordinat (0,0,-50.4)

Berdasarkan cara perhitungan ini, nilai persentase error masing-masing sumbu pada setiap percobaan ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9 Persentase error koordinat masing-masing sumbu

Perc No.	Selisih (cm)			Persentase Error (%)		
	ΔLX	ΔLY	ΔLZ	ErrX	ErrY	ErrZ
1	0.0	0.2	1.4	-	0.86	5.65
2	0.6	0.0	1.9	1.40	-	7.45
3	0.0	1.1	2.6	-	2.63	11.93
4	1.6	1.3	0.4	5.02	11.21	1.53
5	0.2	1.6	1.3	0.87	6.50	9.85
6	0.0	0.3	0.6	-	0.83	2.69
7	0.8	0.2	0.2	6.02	0.57	0.83
8	0.5	0.1	0.3	2.79	0.40	1.02
9	0.8	1.1	3.4	5.37	2.61	6.19

Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

 ΔLX : Jarak perbedaan nilai koordinat X antara robot dan lengan pengendali

 ΔLY : Jarak perbedaan nilai koordinat Y antara robot dan lengan pengendali

 ΔLZ : Jarak perbedaan nilai koordinat Z antara robot dan lengan pengendali

ErrX : Persentase error pada koordinat X

ErrY : Persentase error pada koordinat Y

ErrZ : Persentase error pada koordinat Z

Maksimum error pada koordinat X

Pada koordinat X, persentase error terbesar terjadi pada percobaan ke -7, yaitu pada lengan pengendali menunjukkan nilai 13.3 cm dan pada robot lengan menunjukkan nilai 14.1,cm sehingga nilai errornya adalah:

$$\begin{aligned} \text{ErrX} &= (\Delta LX / L) \times 100\% \\ &= (0.8 / 13.3) \times 100\% \\ &= 6.02 \% \end{aligned}$$

Maksimum error pada koordinat Y

Pada koordinat Y, persentase error terbesar terjadi pada percobaan ke -4, yaitu pada lengan pengendali menunjukkan nilai 11.6 cm dan pada robot lengan menunjukkan nilai 12.9 cm sehingga nilai errornya adalah:

$$\begin{aligned} \text{ErrY} &= (\Delta LY / L) \times 100\% \\ &= (1.3 / 11.6) \times 100\% \\ &= 11.21 \% \end{aligned}$$

Maksimum error pada koordinat Z

Pada koordinat Z, persentase error terbesar terjadi pada percobaan ke -3, yaitu pada lengan

pengendali menunjukkan nilai -28.6 cm dan pada robot lengan menunjukkan nilai -26.0 cm sehingga nilai errornya adalah:

$$\begin{aligned} \text{ErrZ} &= (\Delta LZ / L) \times 100\% \\ &= (2.6 / 21.8) \times 100\% \\ &= 11.93 \% \end{aligned}$$

Persentase error terbesar terjadi pada koordinat Z. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa pengontrolan lengan robot 3 *Degree of freedom* menggunakan aktuator 3 motor servo dan pengontrol *servo controller* memiliki kemungkinan error maksimum terjadi pada koordinat Z yaitu sebesar 11.93 %.

Error yang terjadi dapat disebabkan karena nilai ADC dari potensiometer adalah tidak 100% linier.

4.5 Snapshot pengujian kesesuaian gerakan tangan dan robot lengan

Gambar 9, memperlihatkan gerakan lengan robot dari saat lengan manusia yang mengendalikan berada dibawah untuk kemudian mulai diangkat hingga lurus kedepan.



Gambar 9(a)



Gambar 9(b)



Gambar 9(c)



Gambar 9(d)

Gambar 10, memperlihatkan gerakan lengan robot dari saat lengan manusia yang mengendalikan mengarah ke atas untuk kemudian turun kebawah. Pada gerakan ini, 2 *joint* bergerak secara bersamaan.



Gambar 10(a)



Gambar 10(b)



Gambar 10(c)



Gambar 10(d)

Gambar 11, memperlihatkan gerakan lengan robot mulai saat lengan manusia yang mengendalikan berada di bawah. Pada gerakan ini, 3 *joint* bergerak secara bersamaan sekitar 45° untuk masing-masing *joint* dihitung dari titik awal.



Gambar 11(a)



Gambar 11(b)



Gambar 11(c)



Gambar 11(d)

5. KESIMPULAN

Dari beberapa hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Perubahan nilai ADC potensiometer terhadap perubahan sudutnya adalah tidak 100% linier, dan berbeda pada tiap-tiap potensiometer.

2. Pengontrolan motor servo utk pergerakan *joint* robot lengan menggunakan *servo controller* memiliki kepresisian yang cukup baik jika didukung oleh input kontrol yang baik pula.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahn, Ho Seok, *Advances in Service Robotics*, In-Teh, Croatia, 2008.
- [2] Ashfahl, C.Ray, *Robots and Manufacturing Automation*, John Wiley & Sons Inc., 1985.
- [3] Heryanto, M.Ary, Adi P, Ir.Wisnu, *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, Andi, Yogyakarta, 2008.
- [4] Pitowarno, Endra, *Robotika Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*, ANDI, Yogyakarta, 2006.
- [5] Shircliff, David R, *Build a Remote Controlled Robot*, TAB ELECTRONICS, 2002.
- [6] Widayanti, Parida Yuanita, *Pengendalian Lengan Robot ROB3 Sebagai Penjejak Benda*, 2009.
- [7] Basuki, Hari S., *Lengan Robot*, Buletin IPT No 1 Vol.II, 1996.
- [8] Kariyappa, B.S, *Position Control of an AC Servo Motor Using VHDL & FPGA*, 2009.
- [9] <http://www.ilmukelautan.com/instrumentasi-dan-hidroakustik/instrumentasi-kelautan/395-pengembangan-lengan-robot-robotic-arm-pada-remote-operating-vehicle-rov-dengan-pengendalian-secara-manual>. Diakses pada tanggal 10 Mei 2011, pukul 13.30WIB.
- [10] http://etc.usf.edu/clipart/4100/4148/arm_2_md.gif. Diakses pada tanggal 26 Juni 2011, pukul 21.10WIB.